

Microscope with a short pulse laser which is coupled in via a light-conducting fiber

Patent Number: ☐ US6269206
Publication date: 2001-07-31
Inventor(s): SIMON ULRICH (DE); WOLLESCHENSKY RALF (DE)
Applicant(s): ZEISS CARL JENA GMBH (US)
Requested Patent: ☐ JP2000206415 (JP00206415)
Application Number: US19990238858 19990128
Priority Number(s): DE19981027139 19980618
IPC Classification: G02B6/26
EC Classification: G02B21/00, G02B21/00M4, G02B21/06
Equivalents: ☐ DE19827139

Abstract

A microscope with a short pulse laser which is coupled into the illumination beam path via light-conducting fiber, particularly with pulse lengths in the subpicosecond or picosecond range comprising an optical arrangement for wavelength-dependent temporal delay of the laser pulses being provided between the laser and light-conducting fiber. Further, structure for increasing the average output of the radiation coupled into the microscope by at least one dispersive element is arranged following an end of the light-conducting fiber in the illumination direction

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-206415

(P2000-206415A)

(43) 公開日 平成12年7月28日 (2000.7.28)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
G 0 2 B 21/06		G 0 2 B 21/06	2 H 0 3 8
6/00	3 3 1	6/00	2 H 0 5 2
21/00		21/00	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平11-125431
(22) 出願日 平成11年5月6日 (1999.5.6)
(31) 優先権主張番号 1 9 8 2 7 1 3 9 . 5
(32) 優先日 平成10年6月18日 (1998.6.18)
(33) 優先権主張国 ドイツ (D E)

(71) 出願人 396000455
カール ツァイス イエナ ゲゼルシャフ
ト ミット ベシュレンクテル ハフツン
グ
ドイツ D-07745 イエナ タッツェン
ドブルムナーデ 1 a
(74) 代理人 100071098
弁理士 松田 省躬

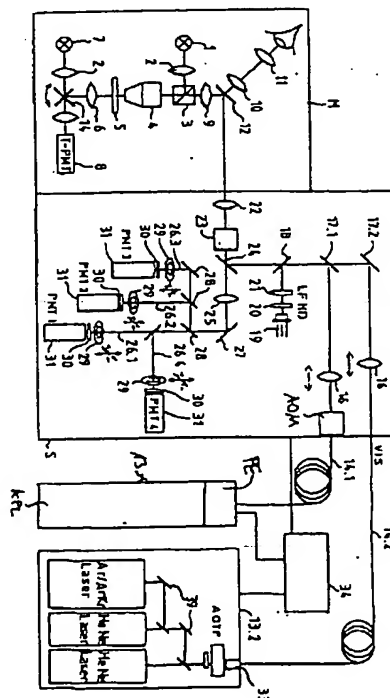
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 短パルスレーザーを分散する光ファイバーを有する顕微鏡

(57) 【要約】

【課題】 非線型効果がパルス輪郭へ及ぼす影響を最小にする、光ファイバーを通じて照明光路へ接続された単パルスレーザーと、特にサブピコ秒またはピコ秒領域内のパルス幅とをもつ顕微鏡

【解決手段】 レーザーと光ファイバーとの間にレーザーパルスを波長に依存して時間的に遅らせるための光学配列が配備され、照明方向に見た光ファイバー終端に、顕微鏡へ接続された放射の平均電力を増大させるための手段を少なくとも1つの分散素子を介して後置した



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光ファイバーを通じて照明光程へ接続された単パルスレーザーと、特にサブピコ秒またはピコ秒領域内のパルス幅とをもつ顕微鏡であって、レーザーと光ファイバーとの間にレーザーパルスを波長に依存して時間的に遅らせるための光学配列が配備され、照明方向に見た光ファイバー終端に、顕微鏡へ接続された放射の平均電力を増大させるための手段が少なくとも1つの分散素子を介して後置されている顕微鏡。

【請求項2】 照明方向に見た光ファイバー終端に後置したプリズムまたは格子をもつ請求項1に記載の顕微鏡。

【請求項3】 光ファイバーに後置したAOM, AOD, AOTFのような少なくとも1基の音響光学変調器をもつ請求項1または2に記載の顕微鏡。

【請求項4】 分散素子が顕微鏡ハウジング内で光ファイバー接続個所に配置されている請求項1-3のいずれか1つに記載の顕微鏡。

【請求項5】 対象物をラスタ形に把握するための手段をもつ請求項1から4のいずれか1つに記載の顕微鏡。

【請求項6】 少なくとも1つの走査方向へのスキャナとして少なくとも1基の音響光学変調器をもつ請求項1から5のいずれか1つに記載のレーザー走査顕微鏡。

【請求項7】 照明方向に見て顕微鏡方向に増大するファイバー断面積をもつよう接続するための少なくとも1本の光ファイバーをもつ請求項1または5に記載の顕微鏡。

【請求項8】 ファイバー断面積が、照明方向に見て顕微鏡に向かって増大する互いに差し込み可能なファイバーをもつ請求項7に記載の顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光ファイバーを通じて照明光程へ接続された単パルスレーザーと、特にサブピコ秒またはピコ秒領域内のパルス幅とをもつ顕微鏡に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 短パルスは、パルス幅に応じて決まったスペクトル帯域幅を有する。たとえば光ファイバーのガラスのような分散材質では、パルス幅は材質を通過する際に群速度分散(GVD)の影響によって変化する。これは個々のパルス周波数成分が時間とともに分割されるのに基づいて起こる。なぜならふつうの分散媒質(ガラス)では赤方偏移した周波数成分が青方偏倚した周波数成分より大きい群速度を有するからである。スペクトルはこのことに無関係である。

【0003】 こうしたパルス幅の増大は、DE-GM 296098 50にあるとおり適切なプレチャープユニット(たとえば回折格子またはプリズム、もしくは両者の組み合わせ)

から成るものを介して補償することができる。

【0004】 このため、パルスのスペクトル成分はプレチャープユニット内で時間的に配列され、青方偏移した周波数成分が赤方偏移した周波数成分より中心周波数に比較して先行させるようにする。続いて分散材質(たとえば光学グラスファイバー)へ結合すると、パルス周波数成分がこの同じ時間的分裂をするということが再びもち上がる。光学材質(グラスファイバー)の終端では、これによってパルスは再びその当初の形、すなわちレーザーから出てきたときの形に見えるようになる。しかしこれらの線型効果に加えて、光学材質中には非線型の、すなわちレーザー光線の強度に依存する効果も現れる。これらの効果(SPM, XPM等)は、スペクトル幅もしくはパルス輪郭へ影響を及ぼす。これらは多くの場合、プレチャープユニット内で到達し得る最小のパルス幅を減少させる。この効果は短パルスレーザー結合の場合望ましくない。

【0005】 基本的にはこれらは、レーザー光線強度を制限することによって臨界値(I_{crit})以下へと下げ回避できる。短パルスレーザーでは、強度(I)はパルス幅(τ)、繰り返し率(f)、平均電力(P_{avg})、ビーム断面積(A)によって次の方程式で決定される。

$$I = P_{avg} / (\tau \cdot f \cdot A) < I_{crit}$$

モード保存、偏光保存のグラスファイバー内では、断面は結合すべきレーザー放射の波長と、使用しているレーザーシステムによる繰り返し率によって定まる。

【0006】 あらかじめプレチャープユニットによって送り込まれたパルスがグラスファイバーを通過する際に変化する状況は図2の上図に示されている。ファイバーの終端でパルス幅が最小となることがわかる。平均電力が変化しなければ、したがって強度はファイバー終端まで増加するわけである。

【0007】 同時に非線型効果(SPM)の影響もファイバー終端で増加する。これは図2の下図にスペクトル幅の変化によって見る事ができる。グラスファイバー出口でパルス幅があらかじめ与えられているとき、それゆえ顕微鏡へと結合される平均電力は非線型効果によって制限されるわけである。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】 この発明は、非線型効果がパルス輪郭へ及ぼす影響を最小にするという課題をもつ。この課題は独立請求がもつ特徴によって解決される。よりよい構築をするのは従属請求の対象となっている。

【0009】

【課題を解決するための手段】 本発明に従えば、非線型効果を避けるためにファイバー終端で強度を小さくする。これはたとえば断面積 A を大きくする(前記方程式を参照)ことによって行うのが有利である。この大きくする仕方は、パルス幅が臨界値に、したがって強度が臨

界値に達する点で行わなければならない。それゆえ、パルスにさらに圧縮するのは非線型効果が避けられるよう、より大きい断面積の領域とする。この際言えることは、分散がより大きい断面積の領域で大きければ大きいほど、接続可能な平均電力は大きい。

【0010】断面積の直径がファイバー終端で増加しているファイバーを図4に示す。断面積が増加しているファイバーの代わりに、2つかいくつかのファイバーをうまく互いに差し込み可能にして使用し、個々のファイバーの断面積が照明方向に増加するようにもできる。特に有利なのは、強く分散させる素子をレーザー走査顕微鏡内へ組み込むことである。こうした強く分散させる素子は、たとえば各種のプリズムもしくは格子圧縮器である。さらに、特別なガラス材質または結晶（たとえばTeO₂）で音響光学装置に組み込まれるようなものが適合している。図には音響光学変調器を使用した配列を示す。

【0011】こうした音響光学装置(AOM; AOD, AOTF)を装入すると、非線型効果を妨げ（すなわちパルス幅が与えられたときの接続可能な平均電力）、また同時にそれらがレーザー走査顕微鏡に示す次の長所、

レーザー光線の走査
連続的な減衰
ms領域の速いスイッチ開閉
位相の遅延

をすべて利用できる。特にAOMとして使用するときには、分散を大きくするためにこの結晶を何回も通過させることができる。これは特に0次の使用および対応する1次の反射のときやすく起こり、図に示したとおりである。

【0012】

【発明の実施の形態】本発明とその長所を以下図示に基づきより詳しく説明する。図1には短パルスレーザーKPLがプレチャープユニットPEと光ファイバーとを通じて顕微鏡へ結合されている状況を図示した。この顕微鏡は図8に示したとおりすぐれもので、レーザー走査型顕微鏡(LSM)である。図2はパルス幅とスペクトル幅のファイバー長さに沿った経過を示す。図3は可能な最小パルス幅が平均電力に依存してどう変わるかを示す。

【0013】図4は終端に向かって照明方向に断面積が増加する光ファイバーを示す。図5は顕微鏡内のファイバー終端に音響光学変調器AOMを配列したところを示す。図6には、（図示していない）ファイバー終端からAOMへ進入する光線と、回折して出てくる0次と1次の光線とを示した。AOMは図7aのように0次でうまく動作し、1次は光程（示していない）から反射して出てくる様子を示している。分散と平均電力とが大きくなるためには、0次がAOM内を何回も通過するのが望ましく、これはたとえばAOMの後ろで0次を何回も反射させるために鏡を追加配列することによって、図7bに示したように実現できる。

【0014】図8には顕微鏡ユニットMと走査中枢Sとを示して、これらは中間写像を通じて共通の光学インターフェースを有し、LSMを形成する。走査中枢Sは直立顕微鏡の光電管にも、倒立顕微鏡の側方出力部にも取り付けることができる。照明スキャンと透視スキャンの間で回転鏡14を介して切り替え可能な顕微鏡光程を示した。

【0015】また、光源1、照明レンズ系2、ビームスプリッター3、対物レンズ4、試料5、集光器6、光源7、受信機の配置8、第1の円筒レンズ9、第2の円筒レンズ10と接眼レンズ11をもつ1つの観測光程、走査光線を接続するためのビームスプリッター12を示した。レーザーモジュール13.1、13.2がレーザーを収容し、単モード光ファイバー14.1、14.2を通じて走査中枢Sのレーザー接続ユニットと結合している。

【0016】光ファイバー14.1、14.2の接続は押して動かす視線レンズ系16を介して行い、さらに奥へ入ってゆくと光線偏向素子17.1、17.2がある。部分透過鏡18を介して監視光程がモニターダイオード19の方向へフェードアウトし、ここには、ここに示さない回転可能なフィルター輪の上に線型フィルター21と中性フィルター20とをあらかじめ配置しておくのが有利である。

【0017】本来の走査ユニットは走査対物レンズ22、スキャナー23、主ビームスプリッター24、検出チャンネル26.1～26.4用共通写像レンズ系25から成る。写像レンズ系25の後ろにある偏向プリズム27が、収束する写像レンズ系25光程内にあるダイクロイックビームスプリッター28の方向へ対象物5から来る放射を反射させる。これらの方向に、光軸に垂直に調節可能な、各検出チャンネル個別の、直径が可変のピンホール29、放出フィルター30、適合した受光素子31(PMT)が後置されている。

【0018】短パルスレーザーKPLの放射の接続がグラスファイバー14.1、とりわけ単モードグラスファイバーへ行われる。DE 29609850にあるとおり、レーザーと光ファイバーの間にはプレチャープユニットPEが配列されている。走査モジュールの入力部には、すでに述べた音響光学変調器AOMが配備されている。レーザー放射を接続するための接続レンズ系33は、接続のために図示していないレンズ系を有している。この焦点距離はレーザー光線断面と最適接続に要する開口数とによって決まっている。

【0019】レーザーモジュール13.2内には個別波長レーザーと多波長レーザーとが配備され、個別または共通にAOTFを通じて1本または数本のファイバーへ接続されている。種々のレーザー放射をファイバー入力部で混合することも可能であり、図に示した交換可能、接続可能な分割鏡39に基づいて行うことができる。

【0020】図2と図3とで発散を示しているファイバー14.1, 2のファイバー終端から走査ユニットSに進出するレーザー放射は、視準レンズ系16を介して無限光線へと視準される。これは個別のレンズで行うのが有利であり、このレンズは、中央駆動ユニット34を通じて駆動可能な制御ユニット37を介して、光軸に沿って押し動かすことによって焦点合わせの機能を有する。これは、レンズから光ファイバー14.1, 2の走査ユニット終端までの距離が、この発明に従えば変えることが可能であることによる。数本の接続ファイバーと種々の波長用の視準レンズ系によって、種々の独立な色補償を調整することができる。

【0021】モニターダイオード19が、これも図示していないが、前置した焦点合わせレンズを有することができ、走査モジュールへ接続されたレーザー放射を恒常的に監視するため、制御ユニット36が駆動した線型フィルター輪または領域選択フィルター輪、またはフィルタースライダー21と組み合わせられて動作する。これは特に、特定のレーザー線とする作業を個別に制御し、必要な場合にはAOTF 32を通じて駆動ユニット34の調整信号を介して安定化するためである。

【0022】これを有利に行うには、スキャナー23自身をAOMまたはAODとして作っておくことができ、そのときには2基のAOMまたはAODを両走査方向用に同時作業させることができる。ここではスキャナーが同時にこの発明に従う分散素子であり、2つの素子を組み合わせることによって、図7bに示したような1基のAOMを何回も通過させることの代わりとなるものである。

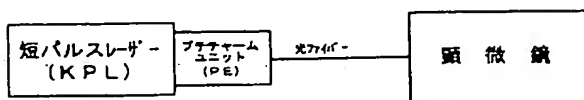
【図面の簡単な説明】

- 【図1】 短パルスレーザーKPL、プレチャープユニットPE、光ファイバーの配列
- 【図2】 パルス幅とスペクトル幅のファイバー長さに沿った経過グラフ
- 【図3】 最小パルス幅の平均電力との関係グラフ
- 【図4】 断面積が増加する光ファイバー
- 【図5】 音響光学変調器AOMへの挿入配列
- 【図6】 AOMへ進入する光線と、回折して出てくる0次と1次の光線
- 【図7】 AOMの動作し
- 【図8】 顕微鏡ユニットMと走査中枢S

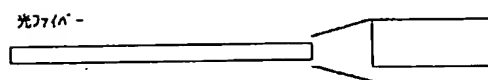
【符号の説明】

- 1 光源
- 2 照明レンズ系
- 3 ビームスプリッター
- 4 対物レンズ
- 5 試料
- 6 集光器
- 7 光源
- 8 受信機の配置
- 9 第1の円筒レンズ
- 10 第2の円筒レンズ
- 11 接眼レンズ
- 12 ビームスプリッター
- 13 レーザーモジュール
- 14 回転鏡
- 14.1, 2 光ファイバー
- 16 視準レンズ系
- 17 光線偏向素子
- 18 部分透過鏡
- 19 モニターダイオード
- 21 線型フィルター
- 20 中性フィルター
- 21 フィルタースライダー
- 22 走査対物レンズ
- 23 スキャナー
- 24 主ビームスプリッター
- 25 写像レンズ系
- 26 検出チャンネル
- 27 偏向プリズム
- 28 ダイクロイックビームスプリッター
- 29 ビンホール
- 30 放出フィルター
- 31 受光素子(PMT)
- 32 AOTF
- 33 接続レンズ系
- 34 駆動ユニット
- 36, 37 制御ユニット
- 39 分割鏡
- S 走査中枢

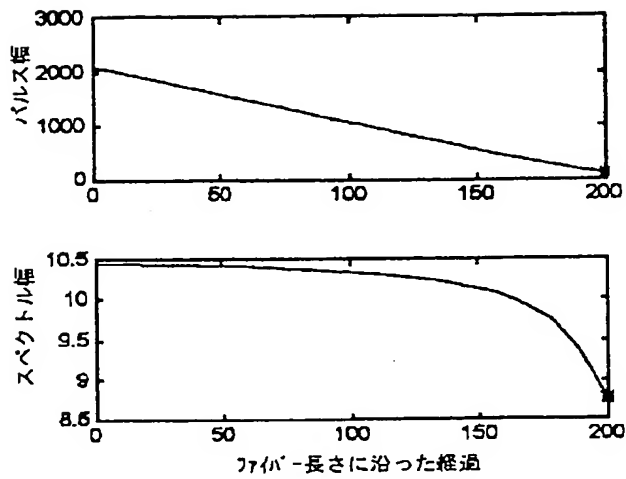
【図1】



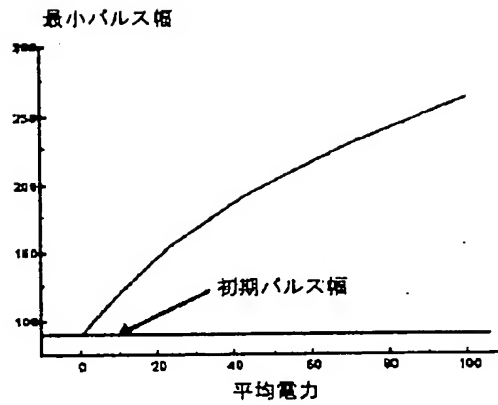
【図4】



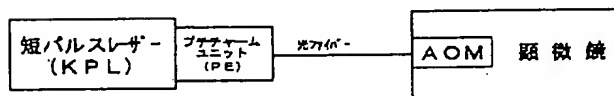
【図2】



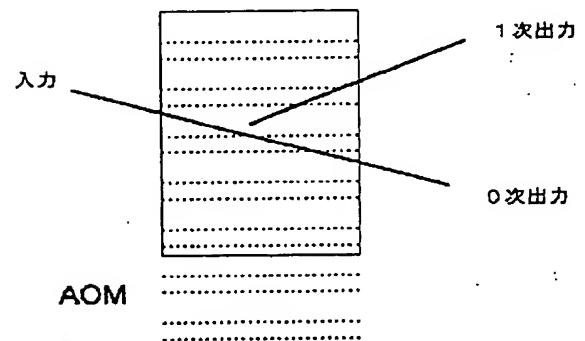
【図3】



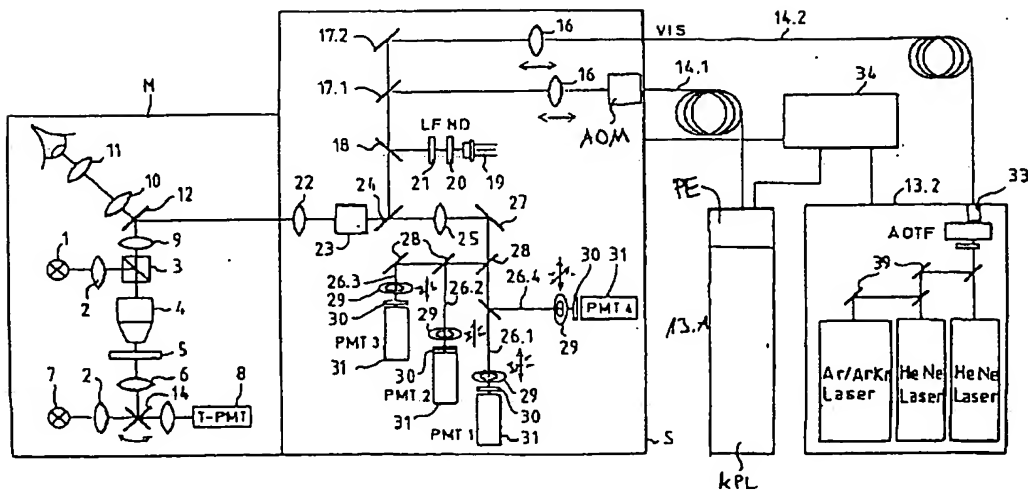
【図5】



【図6】

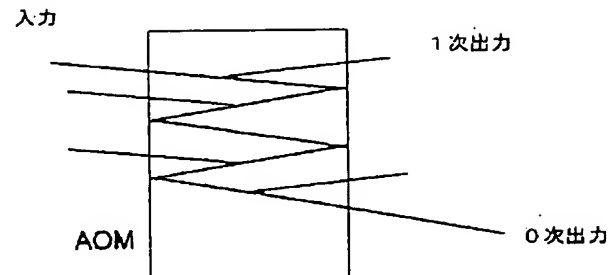


【図8】

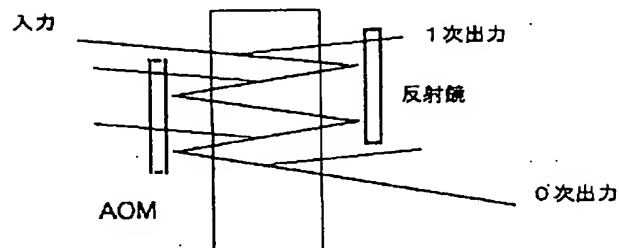


【図7】

(a)



(b)



フロントページの続き

(72)発明者 ウルリッヒ サイモン (原語表記) Ulrich Simon
 ドイツ国 D-07751 ローゼンスタイン
 ブルグストラッセ 35 (原語表記) Burgstr. 35, D-07751 Rot
 henstein, Germany

(72)発明者 イーゴン ルーテル (原語表記) Egon Luther
 ドイツ国 D-99510 シェッテン アン
 デル プロムナーデ 3 (原語表記) An der Promenade 13,
 D-99510 Schoeten, Ge
 rmany

Fターム(参考) 2H038 AA24 AA33
 2H052 AA08 AB24 AB25 AC04 AC05
 AC14 AC15 AC26 AC34